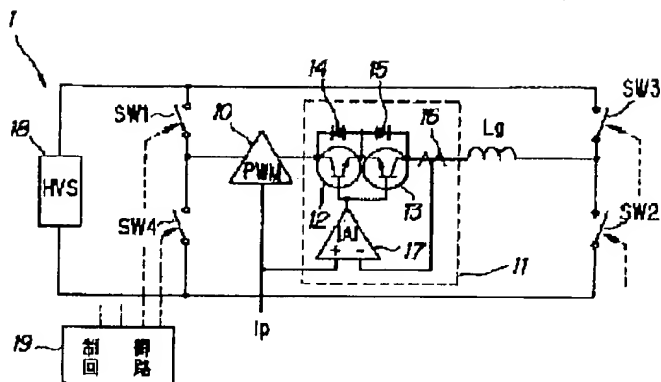


# Patent Abstracts of Japan

TITLE : GRADIENT MAGNETIC FIELD POWER  
SUPPLY DEVICE



**SOLUTION:** This device is equipped with a switching type power amplifier 10 capable of linearly amplifying an instruction signal iP to form coil current for feed to a gradient magnetic field coil Lg, a linear control means (linear control part 11) connected in series to the gradient magnetic field coil Lg and formed to detect a coil current value for controlling and keeping a coil current waveform identical to the waveform of an instruction signal iP, a high voltage power supply 18 capable of applying high voltage to the coil Lg, and a control means (electronic switches SW1 to SW4 and control circuit 11) for controlling the polarity of high voltage capable of being applied via the high voltage power supply 18 as well as the direction of the coil current capable of being fed via the power amplifier 10, depending on the waveform of the instruction signal iP.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-179540

(43)公開日 平成10年(1998)7月7日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

A 6 1 B 5/055

A 6 1 B 5/05

3 4 2

G 0 1 R 33/385

G 0 1 N 24/06

5 1 0 Y

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 9 頁)

(21)出願番号

特願平8-348112

(22)出願日

平成8年(1996)12月26日

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 高橋 史一

栃木県大田原市下石上1385番の1 株式会  
社東芝那須工場内

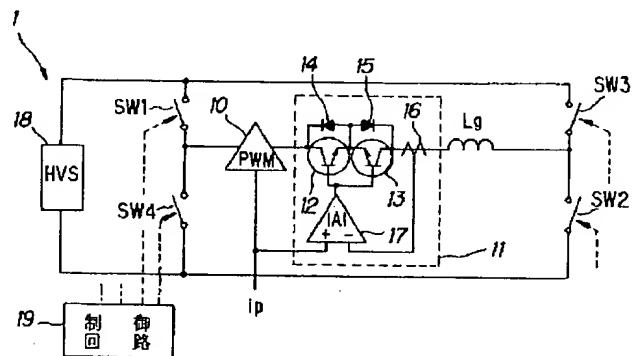
(74)代理人 弁理士 波多野 久 (外1名)

(54)【発明の名称】 傾斜磁場電源装置

(57)【要約】

【課題】電力効率をさほど低下させることなく、スリューレートの高いコイル電流を制御可能な傾斜磁場電源装置を提供する。

【解決手段】指令信号  $i_p$  を線形的に増幅してコイル電流を形成し該電流を傾斜磁場コイル  $L_g$  に供給可能なスイッチング方式の電力増幅器 10 と、傾斜磁場コイル  $L_g$  に直列に接続され且つコイル電流の値を検出して当該コイル電流の波形が指令信号  $i_p$  の波形と一致するように制御するリニア制御手段(リニア制御部 11)と、傾斜磁場コイル  $L_g$  に高電圧を印加可能な高電圧電源 18 と、この高電圧電源 18 により印加可能な高電圧の極性および電力増幅器 10 により供給可能なコイル電流の向きを指令信号  $i_p$  の波形に応じて制御する制御手段(電子スイッチ SW1~SW4、制御回路 11)とを備えた。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 指令信号に応じて傾斜磁場コイルに傾斜磁場発生用のコイル電流を供給するための、磁気共鳴イメージングシステムに搭載される傾斜磁場電源装置において、

上記指令信号を線形的に増幅して上記コイル電流を形成し該電流を上記傾斜磁場コイルに供給可能なスイッチング方式の電力増幅器と、上記傾斜磁場コイルに直列に接続され且つ上記コイル電流の値を検出して当該コイル電流の波形が上記指令信号の波形と一致するように制御するリニア制御手段と、上記傾斜磁場コイルに高電圧を印加可能な高電圧電源と、この高電圧電源により印加可能な高電圧の極性および上記電力増幅器により供給可能なコイル電流の向きを上記指令信号の波形に応じて制御する制御手段とを備えたことを特徴とする傾斜磁場電源装置。

【請求項2】 前記電力増幅器は前記傾斜磁場コイルと直列に接続されているとともに、前記制御手段は上記電力増幅器、前記リニア制御手段、および傾斜磁場コイルの直列回路に対してブリッジ状に接続された複数の電子スイッチと、この複数の電子スイッチを前記指令信号の波形に応じてオン・オフするオン・オフ回路とを備えたことを特徴とする請求項1記載の傾斜磁場電源装置。

【請求項3】 前記電力増幅器は前記高電圧電源に並列に接続されるとともに、前記制御手段は、前記リニア制御手段および傾斜磁場コイルの直列回路に対してブリッジ状に接続された複数の第1の電子スイッチと、このブリッジ接続の回路と上記高電圧電源との間に介挿された第2の電子スイッチと、上記ブリッジ接続の回路と上記電力増幅器との間に介挿された整流素子と、上記複数の第1の電子スイッチおよび上記第2の電子スイッチを前記指令信号の波形に応じてオン・オフするオン・オフ回路とを備えたことを特徴とする請求項1記載の傾斜磁場電源装置。

【請求項4】 前記リニア制御手段は、双方向電流を制御するように構成された複数のトランジスタから成ることを特徴とする請求項2、3記載の傾斜磁場電源装置。

【請求項5】 前記リニア制御手段はB級方式またはAB級方式の電力増幅器であることを特徴とする請求項2、3記載の傾斜磁場電源装置。

【請求項6】 前記電子スイッチは、半導体スイッチング素子と、この半導体スイッチング素子に逆並列接続された整流素子とにより構成されていることを特徴とする請求項2又は3記載の傾斜磁場電源装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は磁気共鳴イメージング(MRI)システムに用いられる傾斜磁場電源装置に係り、とくに高速撮影に好適な傾斜磁場電源装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】磁気共鳴現象を利用したイメージングでは、空間的位置情報を持ったNMR信号を得るために、パルス状の傾斜磁場を印加する必要がある。この傾斜磁場は人体が入る程度の大きさの傾斜磁場コイルに電流パルスを流すことによって発生する。その電流を供給する装置が傾斜磁場電源であり、傾斜磁場センサと傾斜磁場コイルとの間に介挿されている。

【0003】従来の典型的な撮影において用いられている傾斜磁場電源は、電流100[A]～200[A]程度、電圧200[V]～300[V]程度であるが、この規模のアンプを搭載したMRIシステムは、通常、撮影時間が10～15分程度と長い。そこで、近年では撮影を高速化して撮影時間の短縮を図るための研究開発が行われている。傾斜磁場の観点から撮影を高速化するには、パルス状傾斜磁場の強度を大きくし、立ち上がり・立ち下がり時間を短縮すればよい。しかしそのためには、傾斜磁場コイルに大きな電流を短い立ち上がり・立ち下がり時間で供給する必要がある、傾斜磁場電源として大電流高電圧のものを用意する必要がある。

【0004】例えば、撮影時間を数秒程度に短縮するには、概ね電流300[A]～400[A]、電圧2000[V]～3000[V]程度のアンプが必要であるが、これを現在のMOSFETやトランジスタを用いたAB級方式あるいはスイッチング方式の電力増幅器で実現するのは極めて困難である。もし実現したとしても傾斜磁場電源が非常に大型化し、例えば病院の撮影室に入らないといった問題を生ずる。

【0005】そこで、この状況を打破して高速撮影化を図ることのできる従来の傾斜磁場電源として、図18に示すものが知られている。この電源は、傾斜磁場コイルに供給する電流波形が、ほとんどの場合パルス状であることに着目したものであり、同図に示す如く、ブリッジ接続された4つのスイッチSW1～SW4と高電圧源HVSから成るインバータ回路と、負荷である傾斜磁場コイルLgと直列に接続された電力増幅器Linとを有する。電力増幅器Linは周波数特性の良いAB級が用いられる。この構成を用いると、傾斜磁場コイルの電流を立ち上げるときは、高電圧源HVSに繋いで高電圧を印加し、定電流を流すときは電力増幅器から流すことができ、出力電流波形は台形波パルスに限られるが、大電流高電圧を発生する傾斜磁場電源を比較的小形にすることができる。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前述した図18記載の傾斜磁場電源にあつては、電力増幅器LinがAB級方式であるため、周波数特性は良いが、電力効率が悪いという問題がある。電力効率が悪いとデューティ比が大きくとれないために、長時間の連続撮影が難しいという不具合を生ずる。逆にデューティ比を大き

くとするためには電力増幅器 $L_{in}$ を大きくしなければならぬという問題がある。

【0007】かかる状況に鑑みると、電力増幅器として効率の良いスイッチング方式を用いることもでき、その場合にはデューティ比が大きくとれ小形化も可能であるものの、周波数特性が悪いために、速い電流の立ち上がり（スリューレートが大きい）を制御することが難しく、高速撮影用としては不適である。

【0008】この発明は以上の問題に鑑みてなされたもので、電力効率をさほど低下させることなく、スリューレートの大きい電流を制御可能な傾斜磁場電源装置を提供することを、目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、この発明に係る傾斜磁場電源装置は、指令信号に応じて傾斜磁場コイルに傾斜磁場発生用のコイル電流を供給するための、磁気共鳴イメージングシステムに搭載される装置であり、上記指令信号を線形的に増幅して上記コイル電流を形成し該電流を上記傾斜磁場コイルに供給可能なスイッチング方式の電力増幅器と、上記傾斜磁場コイルに直列に接続され且つ上記コイル電流の値を検出して当該コイル電流の波形が上記指令信号の波形と一致するように制御するリニア制御手段と、上記傾斜磁場コイルに高電圧を印加可能な高電圧電源と、この高電圧電源により印加可能な高電圧の極性および上記電力増幅器により供給可能なコイル電流の向きを上記指令信号の波形に応じて制御する制御手段とを備えた。

【0010】とくに請求項2記載の傾斜磁場電源装置では、前記電力増幅器は前記傾斜磁場コイルと直列に接続されているとともに、前記制御手段は上記電力増幅器、前記リニア制御手段、および傾斜磁場コイルの直列回路に対してブリッジ状に接続された複数の電子スイッチと、この複数の電子スイッチを前記指令信号の波形に応じてオン・オフするオン・オフ回路とを備えた。

【0011】また、請求項3記載の傾斜磁場電源装置では、前記電力増幅器は前記高電圧電源に並列に接続されるとともに、前記制御手段は、前記リニア制御手段および傾斜磁場コイルの直列回路に対してブリッジ状に接続された複数の第1の電子スイッチと、このブリッジ接続の回路と上記高電圧電源との間に介挿された第2の電子スイッチと、上記ブリッジ接続の回路と上記電力増幅器との間に介挿された整流素子と、上記複数の第1の電子スイッチおよび上記第2の電子スイッチを前記指令信号の波形に応じてオン・オフするオン・オフ回路とを備えた。

【0012】さらに請求項4記載の傾斜磁場電源装置では、前記リニア制御手段は、双方向電流を制御するように構成された複数のトランジスタから成る。

【0013】さらに請求項5記載の傾斜磁場電源装置では、前記リニア制御手段はB級方式またはAB級方式の

電力増幅器である。

【0014】さらに請求項6記載の傾斜磁場電源装置では、前記電子スイッチは、半導体スイッチング素子と、この半導体スイッチング素子に逆並列接続された整流素子とにより構成されている。

【0015】指令信号が立ち上がり又は立ち下がる時は、制御手段により、負荷側の回路（請求項1、2、4～6記載の発明では「電力増幅器、リニア制御手段、及び傾斜磁場コイルの直列回路」、請求項1、3、4～6記載の発明では「リニア制御手段及び傾斜磁場コイルの直列回路」）が高電圧源に電氣的に繋がれ、高電圧が適宜な極性で印加される。これにより、傾斜磁場コイルに流れるコイル電流が急速に立ち上がり又は立ち下がる。指令信号の波形が一定値のときは、制御手段により、負荷側の回路が高電圧源から電氣的に切り離され、電力増幅器から指令信号に対応した一定電流が傾斜磁場コイルに流される。スイッチング方式の電力増幅器では十分に追従できない高周波電流波形もリニア制御手段により整形される。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を添付図面を参照して説明する。

【0017】まず、第1実施形態を図1～図9に基づいて説明する。

【0018】最初に、この第1実施形態に係る傾斜磁場電源装置の原理的な構成を図1で説明する。同図に示す傾斜磁場電源装置1は、静磁場を発生させるマグネット（図示せず）の診断空間内に装備される傾斜磁場コイル $L_g$ にパルス電流を供給するようになっている。具体的には、傾斜磁場電源装置1は、スイッチング方式、例えばPWM（パルス幅変調）方式の電力増幅器10とリニア制御のリニア制御部11とを有し、傾斜磁場コイル $L_g$ に対してリニア制御部11及び電力増幅器10の順に直列に接続されている。

【0019】この内、リニア制御部11は、互いに逆向き且つ直列に接続されたバイポーラトランジスタ12、13と、このトランジスタ12、13と並列であって互いに逆向き且つ直列に接続されたダイオード14、15と、傾斜磁場コイル $L_g$ に流れる電流 $i_L$ を非接触で検出する電流検出器16と、トランジスタ12、13の動作を制御する比較器17とを備えている。比較器17の非反転入力端（+）には、図示しない傾斜磁場シーケンサから前記電力増幅器10に供給される、所望パルスシーケンスに係る指令パルス電流 $i_p$ が同時に入力しており、また反転入力端（-）には電流検出器16の検出電流が入力しているとともに、出力端が前記トランジスタ12、13のベースに接続されている。ここで比較器17は指令パルス電流と検出電流との差の絶対値を増幅して、トランジスタ12、13のベースに入力する。これにより、リニア制御部11は、傾斜磁場コイル $L_g$ に流

れる電流  $i_{Lg}$  を電流検出器16で検出し、その電流波形が入力パルス電流  $i_p$  と一致するように、リニア制御を行うようになってい

【0020】さらに傾斜磁場電源装置1は、前記電力増幅器10、リニア制御部11、及び傾斜磁場コイル  $L_g$  の直列回路に対してブリッジ接続された電子スイッチSW1～SW4と、この電子スイッチSW1～SW4のブリッジ回路に接続された高電圧源(HVS)18と、電子スイッチSW1～SW4のオン・オフを制御する制御回路19とを備え、これによりインバータ回路を形成している。

【0021】図2には、上記電子スイッチSW1～SW4をより具体的に表した回路構成を示す。つまり、電子スイッチSW1～SW4の各々は、ゲート・ターン・オフ(GTO)のサイリスタSC1(～SC4)とダイオードD1(～D4)との逆並列接続により形成されている。

【0022】続いて、第1実施形態の傾斜磁場電源装置の動作を、図3の電子スイッチSW1～SW4に係るスイッチングのタイムチャートの例に基づいて説明する。なお、この電子スイッチSW1～SW4のGTOサイリスタSC1～SC4のオン・オフ動作は、制御回路19から個別に供給されるオン・オフ切換信号に基づいて行われ、その切換タイミングは傾斜磁場シーケンサから入力される台形波状の指令パルス電流  $i_p$  (すなわち傾斜磁場コイル電流(以下、「コイル電流」という)に相当)  $i_{Lg}$  の台形波状波形に応じて予めプログラミングされている。

【0023】まず、同図に示すように、時刻  $t=0$  でコイル電流  $i_{Lg}$  を立ち上げるには、制御回路19によりGTOサイリスタSC1、SC2をオン、GTOサイリスタSC3、SC4をオフにする。この結果、高電圧源18、電力増幅器10、及びリニア制御部11が直列に接続され、高電圧源18の高電圧が傾斜磁場コイル  $L_g$  に印加される。よって、この立ち上げ時には、コイル電流  $i_{Lg}$  が図4に示す如く、GTOサイリスタSC1→電力増幅器10→リニア制御部11→傾斜磁場コイル  $L_g$  →GTOサイリスタSC2を流れて、入力パルス電流  $i_p$  の立上がりに沿って立ち上がる。

【0024】このとき、電力増幅器10は立ち上がり時間  $t_r$  1ms～0.2msの入力パルス電流  $i_p$  を完全に制御できず、この電力増幅器10だけではコイル電流  $i_{Lg}$  は例えば図9の破線で示す電流波形I1になってしまう。しかしながら、リニア制御部11は高速にリニア制御を行うので、コイル電流  $i_{Lg}$  は図9の実線に示す如く直線的な電流波形I2に整えられる。

【0025】このようにしてコイル電流  $i_{Lg}$  が立ち上がり、その電流値が目標値に達する時刻  $t=t_1$  になると、GTOサイリスタSC2のみが制御回路19によりオフに切り換えられ、高電圧源18が切り離される。こ

の結果、電力増幅器10から傾斜磁場コイル  $L_g$  に、図5に示す如く、リニア制御部11→傾斜磁場コイル  $L_g$  →ダイオードD3→GTOサイリスタSC1を流れて一定電流  $i_{Lg}$  が供給される。このとき、リニア制御部11により高速にリニア制御が行われ、電流波形が図9中のI2の如く整えられる。

【0026】さらにコイル電流  $i_{Lg}$  を反転させる時刻  $t=t_2$  に達すると、GTOサイリスタSC2=オフを保持したまま、今度はGTOサイリスタSC1=オフ、且つ、SC3=SC4=オンに切り換えられる。この結果、傾斜磁場コイル  $L_g$ 、リニア制御部11、及び電力増幅器10から成る直列回路がダイオードD3、D4によって高電圧源18に接続され、傾斜磁場コイル  $L_g$  に逆電圧が印加される。よって傾斜磁場コイル電流  $i_{Lg}$  が減少する。このときのコイル電流  $i_{Lg}$  は図6に示す如く、ダイオードD4→電力増幅器10→リニア制御部11→傾斜磁場コイル  $L_g$  →ダイオードD4の順に流れる。リニア制御部11による波形整形も同様に行われる(図9参照)。

【0027】さらに、上記の電流減少によって、コイル電流  $i_{Lg}=0$  になると、今度はGTOサイリスタSC3、SC4を流れて傾斜磁場コイル  $L_g$ 、リニア制御部11、及び電力増幅器10の直列回路が高電圧源18に接続される。したがってコイル電流  $i_{Lg}$  が図7に示す如く流れ、反転側に高速で立ち上げられる。

【0028】さらに、コイル電流  $i_{Lg}$  が反転側で目標値に達する時刻  $t=t_3$  になると、上記立ち上げの状態からGTOサイリスタSC4がオフに切り換えられる。これにより、高電圧源18が切り離され、電力増幅器10から図8に示す経路でコイル電流  $i_{Lg}$  が流れ、一定電流がコイル  $L_g$  に供給される。

【0029】以上のオン・オフの繰り返しの結果、コイル電流  $i_{Lg}$  も、図3に示す如く、所望の台形波状に形成される。

【0030】本第1実施形態の傾斜磁場電源装置は以上のように構成され機能するので、電力増幅器にPWM方式を採用でき、従って電力増幅器自体の電力効率が良く、またリニア制御部には大きな電圧が掛からないので損失が少なく済み、装置全体としても優れた省エネルギー効果を得る。従って、電力増幅器にAB級方式を用いたときに比べてデューティ比を大きくとることができ、長時間の連続撮影が容易になるとともに小形化も推進できる。同時に、電力増幅器のPWM方式を採用したことによる周波数特性の低下に伴う電流波形の不完全性は、図9に示したように、リニア制御部で的確に修正され、良好な電流波形になるから、高速撮影が可能になる。

【0031】リニア制御部11は図1に示した構成のほか、図10に示す構成にしても良い。即ち、PNP型トランジスタとダイオードの直列接続したものと、NP型トランジスタとダイオードを直列接続したものを、

並列接続した構成である。このとき、比較器17は指令パルス電流と検出電流との差を増幅して、トランジスタのベースに入力する。

【0032】ところで、本第1実施形態では図9に示すように、コイル電流が0付近のところでクロスオーバー歪みが生ずることがある。これを解決するには図11に示す変形形態のように、リニア制御部としてB級またはA/B級の電力増幅器を用いる方法がある。ただし、ここで用いる電力増幅器はコイル電流の不完全性を補正する程度の電圧を出力できればよいので、図21の従来例で用いる電力増幅器より、はるかに低損失である。

【0033】この構成によると、コイル電流は図12に示すように、クロスオーバー歪みの無い台形波形となる。

【0034】次に、本発明の第2実施形態を図13～図20に基づいて説明する。

【0035】図13に示す傾斜磁場電源装置1は、傾斜磁場コイル $L_g$ にリニア制御部11が直列に接続され、その直列接続回路が電子スイッチSW1～SW4でブリッジ接続されている。さらに、このブリッジ回路が別の電子スイッチSW5を介して高電圧源18に接続されている。またそのブリッジ回路に対してダイオードD6及び電力増幅器10の直列回路が並列に接続されている。その他の構成は第1実施形態のものと同一であり、またリニア制御部11の機能も第1実施形態と同じである。

【0036】上記電子スイッチSW1～SW5の各々は具体的には、図14に示す如くGTOサイリスタSC1（～SC5）とダイオードD1（～D5）の逆並列接続により構成されている。

【0037】続いて、第2実施形態の動作を図15のスイッチングタイムチャートに従って説明する。

【0038】まずコイル電流 $i_{Lg}$ を立ち上げる時刻 $t=0$ ではGTOサイリスタSC1、SC2、SC5がオンに設定される（GTOサイリスタSC3、SC4はオフ）。これにより、高電圧源18がリニア制御部11、傾斜磁場コイル $L_g$ に接続され、傾斜磁場コイル $L_g$ に高電圧が印加される。これにより、コイル電流 $i_{Lg}$ は図16に示す如く流れ、急速に立ち上がる。

【0039】立ち上がったコイル電流 $i_{Lg}$ が目標値に達する時刻 $t=t_1$ になると、今度はGTOサイリスタSC5がオフに切り換えられ、負荷側の回路が高電圧源18から切り離される。これにより電力増幅器10から傾斜磁場コイル $L_g$ に、図17に示す経路で一定値のコイル電流 $i_{Lg}$ が流される。

【0040】そして、時刻 $t=t_2$ になるとコイル電流 $i_{Lg}$ を反転させるため、GTOサイリスタSC1、SC2＝オフ、SC3～SC5＝オンに各々切り換える。この結果、リニア制御部11及び傾斜磁場コイル $L_g$ の直列回路がダイオードD3～D4を介して高電圧源18に接続され、傾斜磁場コイル $L_g$ に逆電圧が印加される。この状態ではコイル電流 $i_{Lg}$ は図18に示す如くそれま

での方向と同一方向に流れるが、電流値は急速に減少する。

【0041】この様にコイル電流 $i_{Lg}$ が減少して電流値＝0になると、今度はGTOサイリスタSC3～SC5を介して高電圧源18に接続される。この結果、傾斜磁場コイル $L_g$ には反対方向のコイル電流 $i_{Lg}$ が図19のように流れ始め、その逆電流 $i_{Lg}$ が目標値に達する時刻 $t=t_3$ になると、それまでのスイッチ状態からGTOサイリスタSC5＝オフに切り換えられる。これにより負荷側回路が高電圧源18から切り離され、電力増幅器10から逆方向の一定値のコイル電流 $i_{Lg}$ が図20に示す経路で流される。

【0042】以上のサイクルの繰り返して、図15に示す如く、入力パルス電流 $i_p$ に同期した台形波状のコイル電流 $i_{Lg}$ が供給される。従って、本第2実施例によっても前述した第1実施形態と同等の作用効果を得ることができるとともに、コイル電流 $i_{Lg}$ の立ち上がり及び立下がり時には電力増幅器10にコイル電流 $i_{Lg}$ が流れないため、電力増幅器10の耐久性が高められるなどの利点がある。

【0043】第2実施形態でも第1実施形態のようなクロスオーバー歪みの出ることがあるので、リニア制御部として低電圧のA/B級電力増幅器を用いても良い。

【0044】なお、上記各実施例では電子スイッチのスイッチング素子としてGTOサイリスタを用いたが、必ずしもそのような構成に限定されることなく、例えば、パワートランジスタ、MOS型FET、IGBTなどを用いることもできる。

【0045】

【発明の効果】以上説明したように、この発明の傾斜磁場電源装置は、傾斜磁場コイルに流れるコイル電流の立ち上がり、立下がり時には高電圧源を使い、そのコイル電流の一定値のときにはスイッチング方式の電力増幅器を使うとともに、傾斜磁場コイルにリニア制御手段を直列に挿入して常に電流波形を整形するようにしたことから、電力効率をさほど低下させることなく、スリューレートの大きいコイル電流を制御でき、A/B級方式の電力増幅器を用いたときに比べて、デューティ比を大きくとることができ、小形化を推進できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態に係る傾斜磁場電源装置の原理的構成を示すブロック図。

【図2】第1実施形態の傾斜磁場電源装置のより具体的構成を示すブロック図。

【図3】第1実施形態における台形波状のコイル電流を流すときのスイッチングタイムチャート。

【図4】図3のタイムチャートに係る電流経路の一態様を示す説明図。

【図5】図3のタイムチャートに係る電流経路の一態様を示す説明図。

【図6】図3のタイムチャートに係る電流経路の一態様を示す説明図。

【図7】図3のタイムチャートに係る電流経路の一態様を示す説明図。

【図8】図3のタイムチャートに係る電流経路の一態様を示す説明図。

【図9】リニア制御部の波形整形機能を示す図。

【図10】リニア制御部の他の例を示す回路図。

【図11】第1実施形態の変形形態に係る傾斜磁場電源装置のブロック図。

【図12】図11の変形形態におけるコイル電流を示す図。

【図13】本発明の第2実施形態に係る傾斜磁場電源装置の原理的構成を示すブロック図。

【図14】第2実施形態の傾斜磁場電源装置のより具体的構成を示すブロック図。

【図15】第2実施形態における台形波状のコイル電流を流すときのスイッチングタイムチャート。

【図16】図15のタイムチャートに係る電流経路の一態様を示す説明図。

【図17】図15のタイムチャートに係る電流経路の一

態様を示す説明図。

【図18】図15のタイムチャートに係る電流経路の一態様を示す説明図。

【図19】図15のタイムチャートに係る電流経路の一態様を示す説明図。

【図20】図15のタイムチャートに係る電流経路の一態様を示す説明図。

【図21】従来の傾斜磁場電源装置の一例を示すブロック図。

【符号の説明】

1 傾斜磁場電源装置

Lg 傾斜磁場コイル

10 電力増幅器

11 リニア制御部（発明のリニア制御手段に対応）

18 高電圧源

19 制御回路（発明の制御手段の一部に対応）

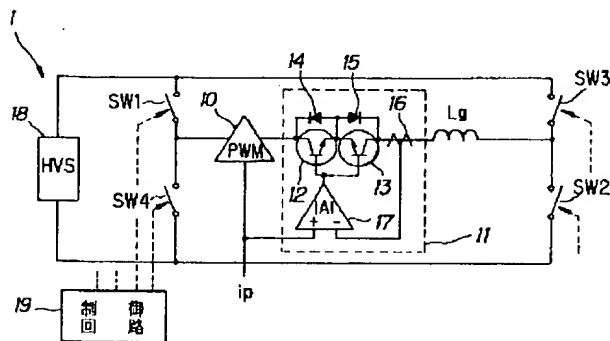
SW1～SW5 電子スイッチ（発明の制御手段の一部に対応）

SC1～SC5 GTOサイリスタ

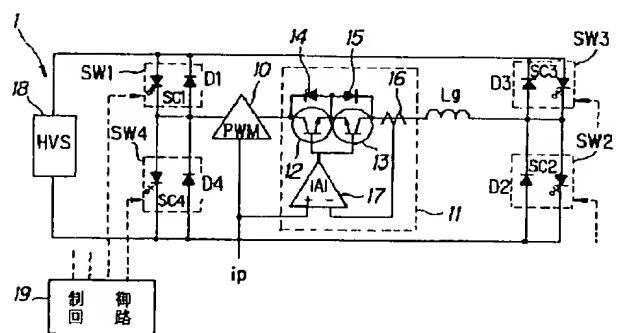
D1～D5 ダイオード

D6 ダイオード（発明の制御手段の一部に対応）

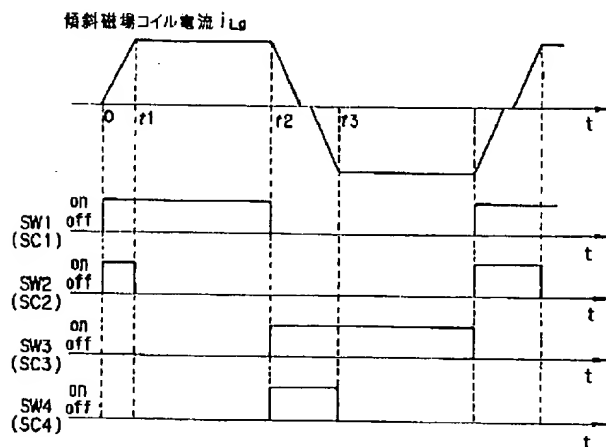
【図1】



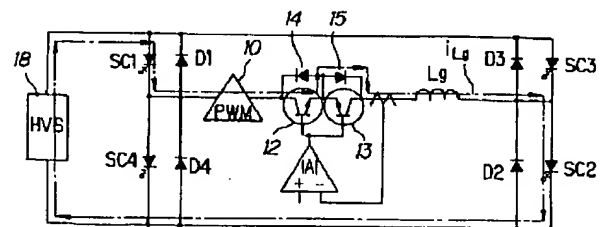
【図2】



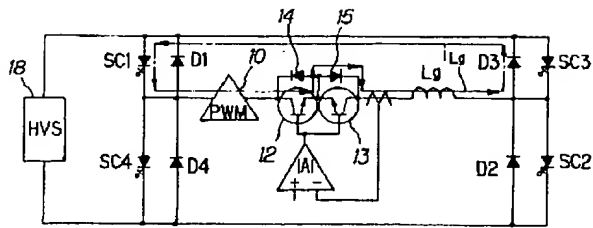
【図3】



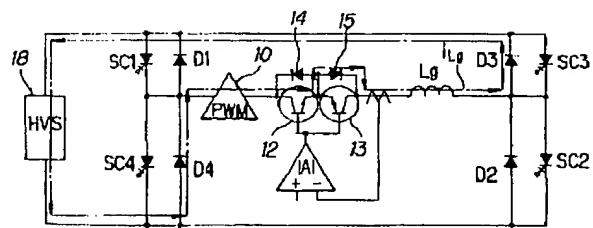
【図4】



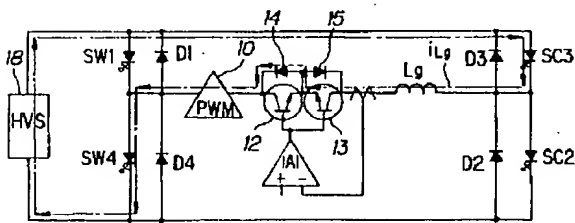
【図5】



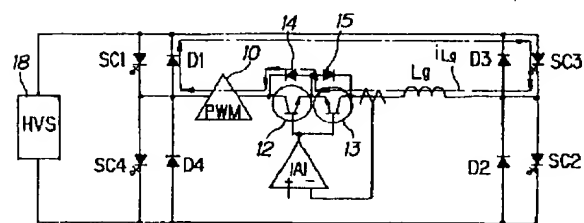
【図6】



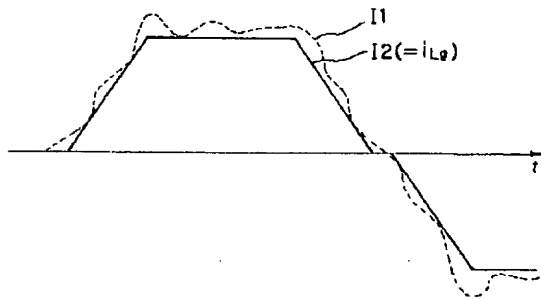
【図7】



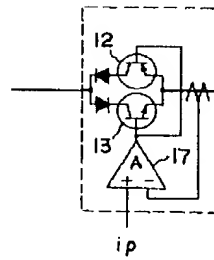
【図8】



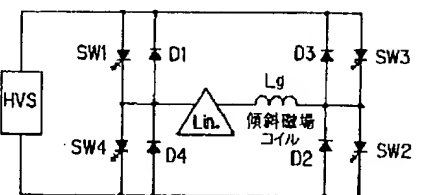
【図9】



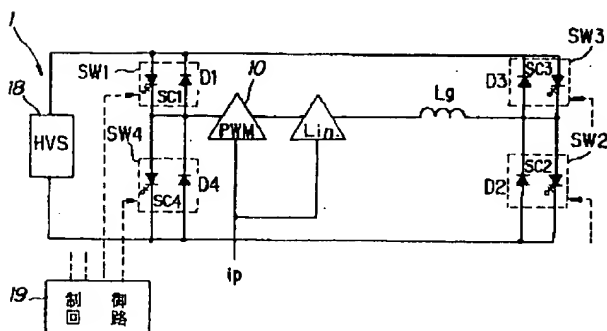
【図10】



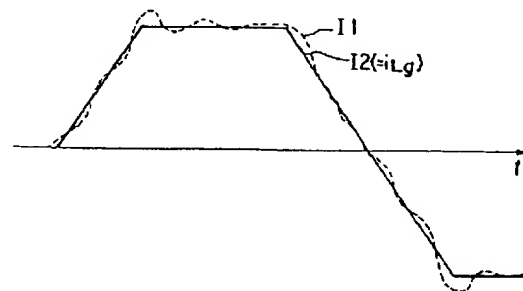
【図11】



【図12】

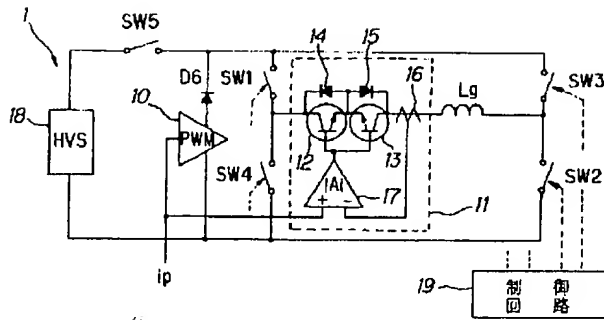


【図12】

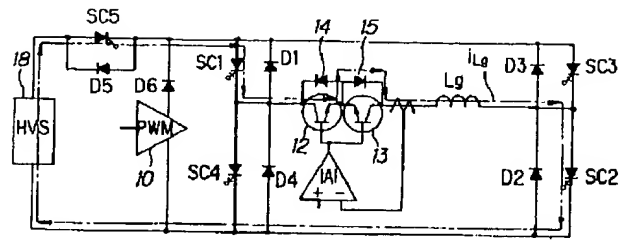




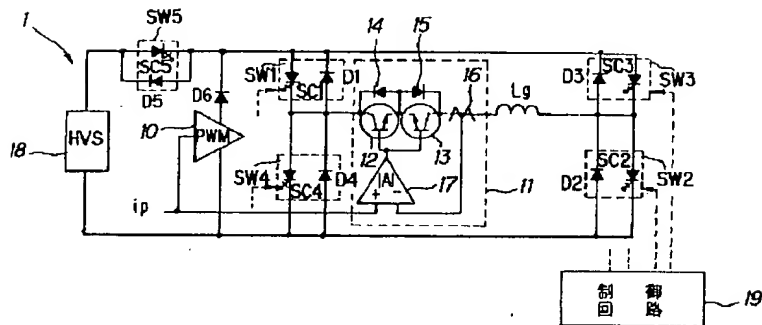
【図13】



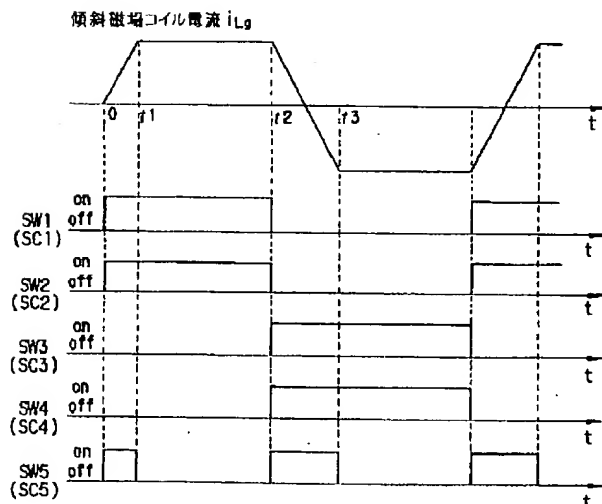
【図16】



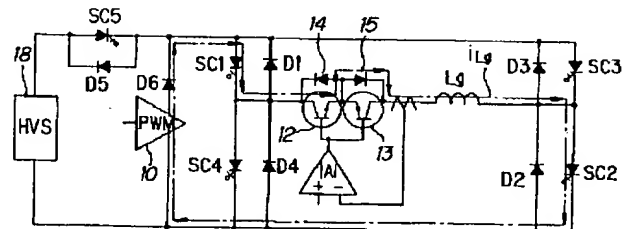
【図14】



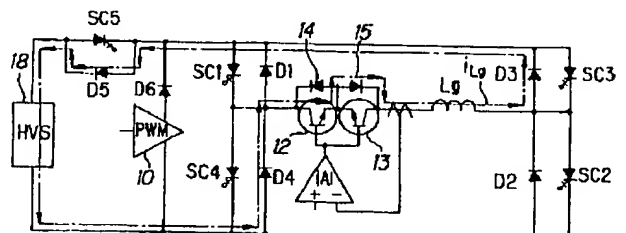
【図15】



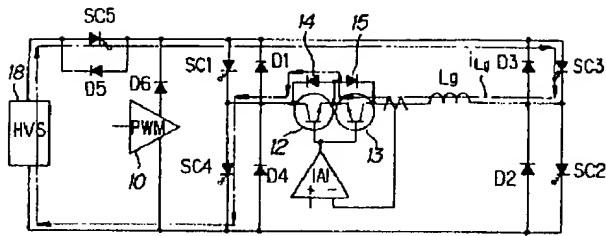
【図17】



【図18】



【図19】



【図20】

